МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 629.4.02+06 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-36-41

Моделирование динамики рычажной передачи тормозной системы в процессе торможения на участке пути, имеющему неровности (на примере пассажирского вагона)



И. А. Яицков, В. В. Косаревский
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Статья посвящена моделированию динамических процессов рычажной передачи тормозной системы пассажирского вагона в процессе торможения на участке пути, имеющему неровности.
Цели работы: разработка модуля контакта «тормозная колодка рычажной передачи – рабочая поверхность колеса» в полноразмерной компьютерной модели пассажирского вагона в программном комплексе «Универсальный механизм»; компьютерное моделирование рабочего режима торможения от 50 до 32 км/ч, с учетом вертикальных и горизонтальных неровностей рельсовых нитей пути, для определения закономерностей изменения продольного ускорения тормозной колодки и ее углового ускорения. Предмет исследования — силовое взаимодействие элементов и динамические процессы в рычажной передаче тормозной системы пассажирских вагонов.
Материалы и методы. В программный комплекс «Универсальный механизм» предложен новый модуль контакта «тормозная колодка рычажной передачи – рабочая поверхность колеса», который позволил определить продольные и угловые ускорения тормозной колодки рычажной передачи пассажирского вагона. Проведено имитационное моделирование рычажной передачи тормозной системы пассажирского вагона с тележками КВЗ-ЦНИИ типа II, оснащенного колодочными тормозами.
Результаты исследования. Разработана полноразмерная компьютерная модель пассажирского вагона в программном комплексе «Универсальный механизм», в которую включен разработанный модуль контакта «тормозная колодка рычажной передачи — рабочая поверхность колеса». Вагон представлен как система твердых тел, соединенных упругими и диссипативными элементами. При помощи компьютерного моделирования воспроизведен рабочий режим торможения при снижении скорости пассажирского вагона от 50 до 32 км/ч с учетом вертикальных и горизонтальных неровностей рельсовых нитей железнодорожного пути. Результатом моделирования явились закономерности изменения продольного ускорения тормозной колодки и ее углового ускорения в процессе торможения в вышеуказанном диапазоне скоростей. Построены спектры продольного углового ускорения тормозной колодки. Выявлено, что наличие неровностей пути оказывает влияние на спектральный состав ускорений. Кроме этого, при наложении колебаний подпрыгивания и галопирования рамы тележки при движении по пути с неровностями, колодка рычажной передачи может перемещаться вверх-вниз по рабочей поверхности колеса с размахом, достигающим 50 мм. Расширены функциональные возможности моделирования динамических процессов рычажной передачи тормозной системы пассажирского вагона в пакете программного комплекса «УМ-Локо».
Обсуждение и заключения. Полученные результаты могут быть использованы в процессе проектирования новых и модернизации существующих рычажных передач тормозной системы пассажирских вагонов на машиностроительных предприятиях и вагоноремонтных предприятиях. Это, в свою очередь, должно обеспечить равномерное распределения усилий по всем тормозным колодкам рычажной передачи пассажирского вагона.

Ключевые слова: рычажная передача, тормозная система, вагон, колодка, динамика, моделирование, торможение, неровности пути.

Для цитирования: Яицков, И. А. Моделирование динамики рычажной передачи тормозной системы в процессе торможения на участке пути, имеющему неровности (на примере пассажирского вагона) / И. А. Яицков, В. В. Косаревский // Вестник Донского государственного технического университета. — 2020. — Т. 20, №1. — С. 36−41. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-36-41



Brake rigging dynamic simulation under braking on a track section with irregularities (the case of a passenger car)

I. A. Yaitskov, V. V. Kosarevskii
Rostov State Transport University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The paper considers simulation of the dynamic processes of the brake rigging of a passenger car under braking on a track section with irregularities. The work objectives include the development of a “rigging brakeblock - wheel working surface” contact module in a full-scale computer model of a passenger car in the “Universal Mechanism” software package; and a computer simulation of the braking operating mode from 50 to 32 km/h considering vertical and horizontal track rail irregularities for determining the mechanism of variation of the longitudinal acceleration of the brakeblock and its angular acceleration. The subject of the study is the force interaction of the elements and dynamic processes in the brake system of passenger cars.
Materials and Methods. A new “rigging brakeblock - wheel working surface” contact module, which provides the determination of the longitudinal and angular accelerations of the brake rigging of a passenger car, is proposed to the “Universal Mechanism” software package,. The simulated modeling of the brake rigging system of a passenger car with KVZ-TsNII type II trolleys equipped with shoe brakes is carried out.
Results. A full-scale computer model of a passenger car, which includes the designed contact module “linkage brake pad - wheel working surface”, has been developed in the “Universal Mechanism” software package. The car is presented as a system of solids connected by elastic and dissipative elements. Using computer simulation, the operating mode of braking was reproduced under reducing the speed of a passenger car from 50 to 32 km/h considering vertical and horizontal irregularities of a railway track. The simulation result was the laws of change in the longitudinal acceleration of the brakeblock and its angular acceleration under braking in the above speed range. Their spectra of longitudinal angular acceleration of the brakeblock were constructed. It was determined that the presence of track irregularities affects the spectral composition of the accelerations. In addition, under the superposition of the bogie-frame pitching and bouncing oscillations, when moving along an uneven track, the rigging block can move up and down the wheel-working surface within a range of up to 50 mm. The simulation functionality of the dynamic processes of the brake system of a passenger car was expanded in the “UM-Loko” software package.
Discussion and Conclusions. The results obtained can be used in the design of new rigging brake systems of passenger cars and modernization of existing ones at the engineering enterprises and railway-car repair works. This, in turn, should ensure uniform distribution of efforts across all brake rigging brakeblocks of a passenger car.

Keywords*:* rigging, brake system, wagon, block, dynamics, simulation, braking, track with irregularities.

For citation: I. A. Yaitskov, V. V. Kosarevskii. Brake rigging dynamic simulation under braking on a track section with irregularities (the case of a passenger car). Vestnik of DSTU, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 37−42. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2020-20-1-36-41

Введение. Проблема обеспечения эффективной и надежной работы тормозных систем пассажирских вагонов становится еще более актуальной при внедрении на железных дорогах России скоростного движения. Основной частью современных тормозных систем является рычажная передача тормозной системы пассажирского вагона, эффективность и надежность работы которой непосредственно зависит от качества проектирования, эксплуатации, обслуживания и ремонта тормозного оборудования. Механическая часть тормозной системы объединяет рычажную тормозную передачу, автоматический регулятор рычажной передачи и фрикционные элементы тормоза (тормозные колодки и накладки). Одним из основных требований к рычажной передаче тормозной системы является обеспечение равномерного распределения усилий по всем тормозным колодкам. Однако в условиях эксплуатации наблюдается некоторый разброс в усилиях нажатия тормозных колодок на колесные пары как в пределах вагона, так и каждой тележки. Неравномерность распределения нажатий тормозных колодок может быть одной из основных причин их неравномерного износа. Предметом исследования являются силовое взаимодействие элементов и динамические процессы в рычажной передаче тормозной системы пассажирских вагонов. Уровень проведенных теоретических исследований динамических процессов элементов конструкций тягового подвижного состава достаточно высок [1–12].

Материалы и методы. С целью уточнения и подтверждения результатов проведенных теоретических исследований необходимо провести компьютерное моделирование динамических процессов рычажной передачи тормозной системы пассажирского вагона, протекающих при торможении на ровном участке пути. Основными причинами динамических процессов в контакте «тормозная колодка рычажной передачи – рабочая поверхность колеса» могут быть колебания экипажной части вагона при движении по пути, имеющем неровности. Это связано с тем, что колодки и элементы рычажной передачи тормозной системы конструктивно связаны с рамой тележки, которая за счет деформаций буксового подвешивания перемещается по отношению к катящимся по рельсам колесным парам. Необходимо перейти к моделированию процесса торможения при наличии неровностей пути.

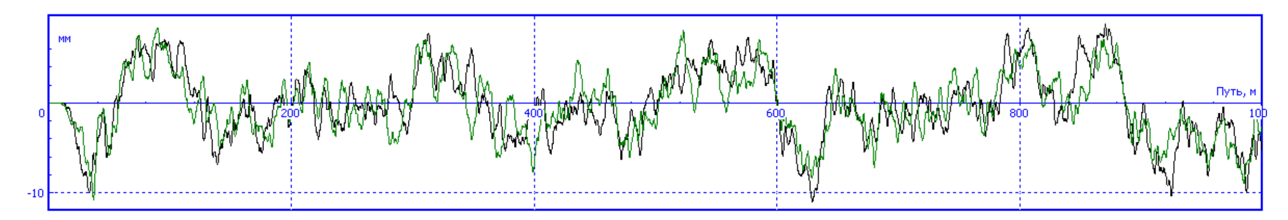


Рис. 1. Пример вертикальных неровностей рельсовых нитей пути

Файлы вертикальных и горизонтальных неровностей рельсовых нитей, представляющие собой обобщение результатов путеизмерений, имеются в составе программного комплекса «УМ-Локо». На рис. 1 в качестве примера показаны вертикальные неровности на участке длиной 1000 м.

Результаты исследования. Результаты моделирования динамических процессов рычажной передачи тормозной системы на ровном пути представлены на рис. 2. Картина пятен контакта «колесо – рельс» для всех четырех колесных пар вагона, при наличии неровностей пути, показана на рис. 3. Сопоставление результатов моделирования с рис. 2 позволяет сделать вывод о том, что наличие неровностей приводит к возникновению вертикальных колебаний экипажной части и, как следствие, к значительному изменению усилий в пределах пятна контакта «колесо-рельс».

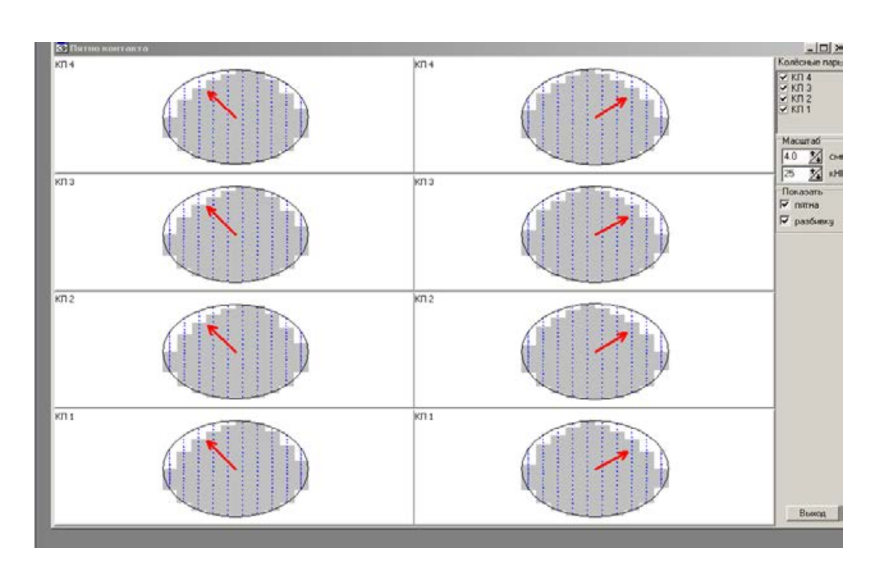


Рис. 2. Пятна контакта «колесо-рельс» и распределение усилий (ровный путь)

При движении по пути с неровностями колебания подпрыгивания рамы тележки имеют амплитуду, достигающую 18 мм, в спектре колебаний просматриваются частоты 0,8; 0,95 и 1,07 Гц. Последняя частота близка к собственной частоте галопирования кузова.

Колебания галопирования рамы тележки имеют амплитуду до 0,0025 рад. В спектре имеются частоты 0,25; 0,8; 0,95; 3,7 и 3,9 Гц.

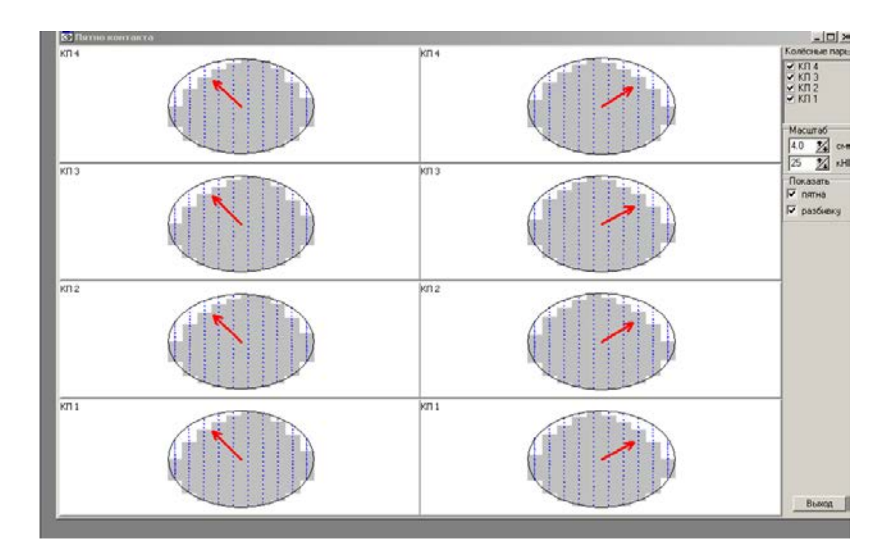


Рис. 3. Пятна контакта «колесо-рельс» и распределение усилий (неровный путь)

На рис. 4 и 5 показан график продольного ускорения колодки рычажной передачи в процессе торможения при наличии неровностей пути и его спектральный состав.

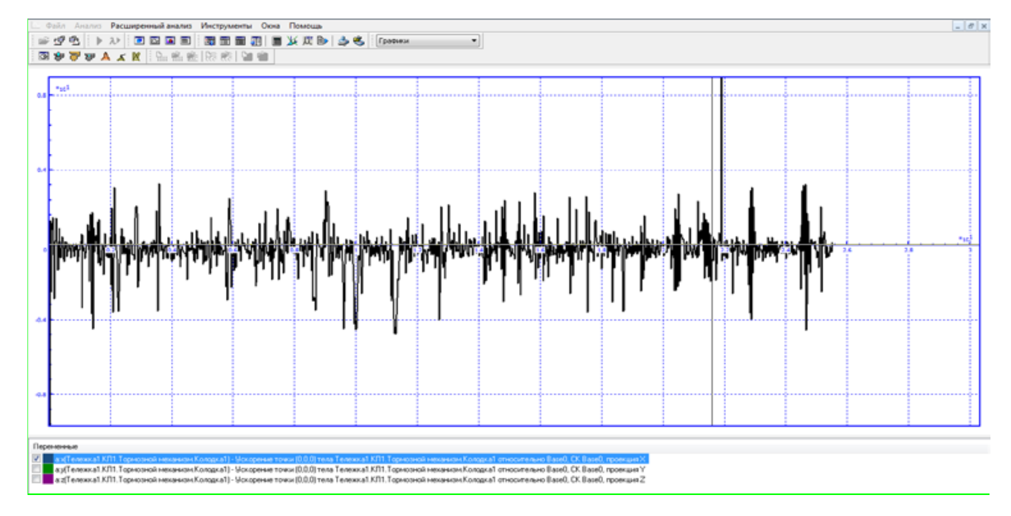


Рис. 4. Продольное ускорение колодки рычажной передачи
в процессе торможения (путь с неровностями)

На рис. 6 и 7 показан график углового ускорения колодки рычажной передачи в процессе торможения при наличии неровностей пути и его спектральный состав.

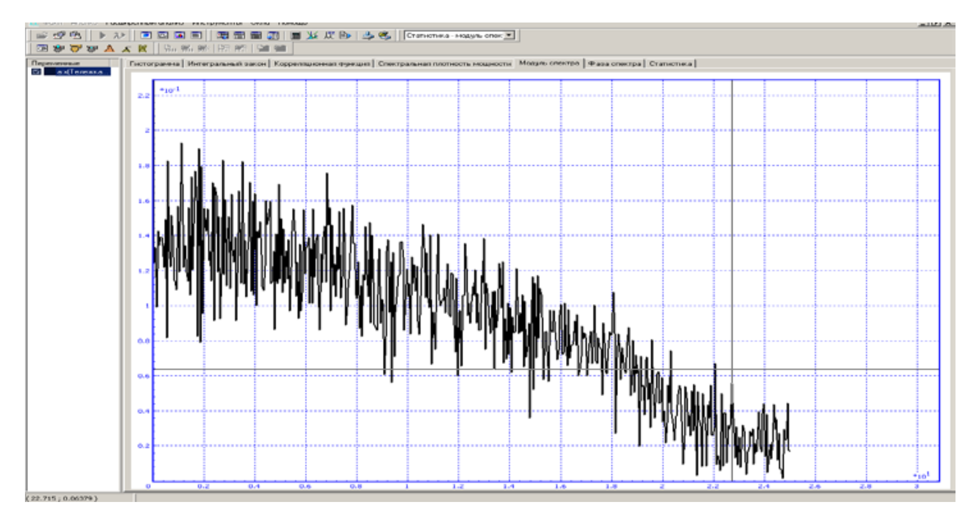


Рис. 5. Спектральный состав продольного ускорения колодки
рычажной передачи (путь с неровностями)

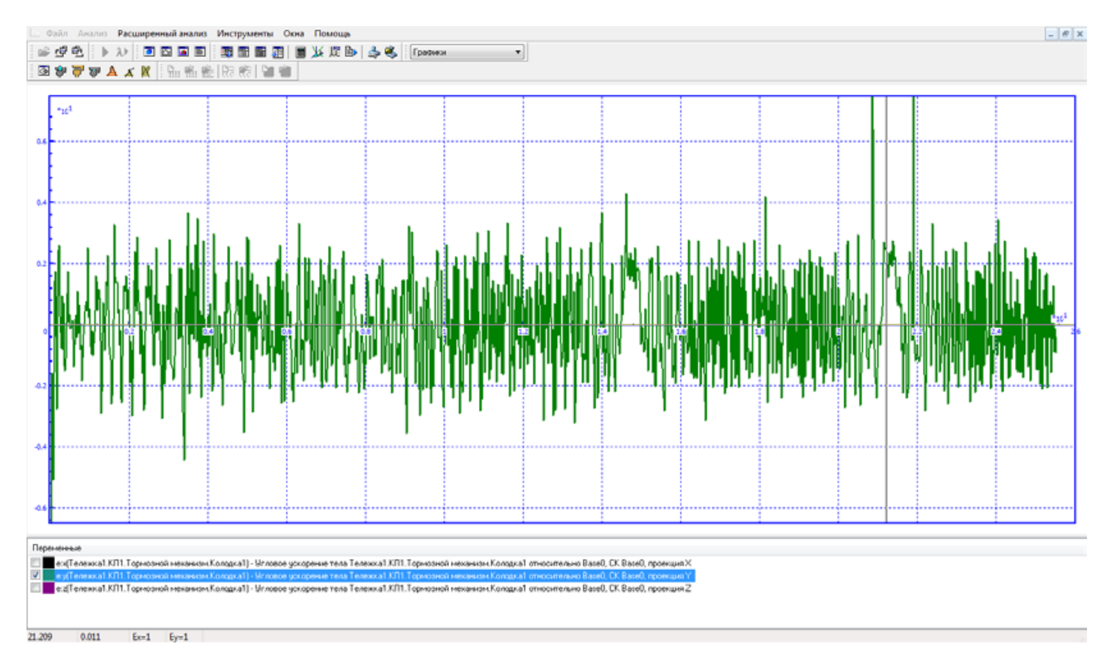


Рис. 6. Угловое ускорение колодки рычажной передачи (путь с неровностями)

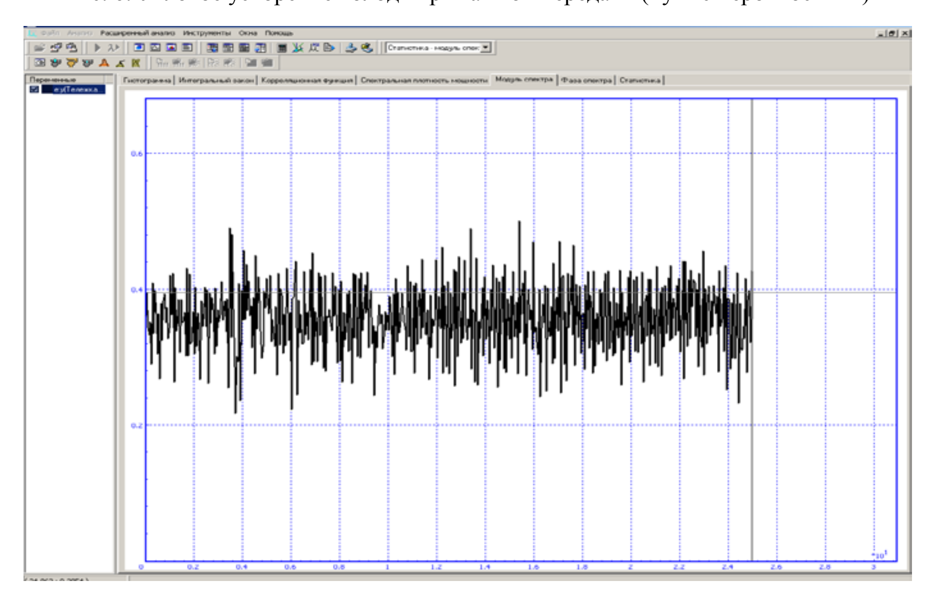


Рис. 7. Спектральный состав углового ускорения (путь с неровностями)

Из результатов моделирования видно, что при наличии неровностей пути продольные и угловые колебания колодок происходят в частотном диапазоне до 25 Гц, причем их спектральный состав несколько отличается от случая, когда торможение происходит по ровному пути.

Обсуждение и заключения. Разработана полноразмерная компьютерная модель пассажирского вагона в программном комплексе «Универсальный механизм». Вагон представлен как система твердых тел, соединенных упругими и диссипативными элементами. В состав модели включен разработанный контакт «тормозная колодка рычажной передачи — рабочая поверхность колеса». При помощи компьютерной модели воспроизведен рабочий режим торможения от 50 до 32 км/ч. Рассмотрен вариант, когда путь имеет вертикальные и горизонтальные неровности рельсовых нитей. В результате моделирования получены закономерности изменения продольного ускорения тормозной колодки и ее углового ускорения в процессе торможения от 50 до 32 км/ч, построены их спектры. Наличие неровностей пути оказывает влияние на спектральный состав ускорений. Кроме того, при наложении колебаний подпрыгивания и галопирования рамы тележки при движении по пути с неровностями, колодка рычажной передачи может перемещаться вверх-вниз по рабочей поверхности колеса с размахом, достигающим 50 мм. Полученные результаты могут быть использованы в процессе проектирования новых и модернизации существующих рычажных передач тормозной системы пассажирских вагонов на машиностроительных предприятиях и вагоноремонтных предприятиях с целью обеспечения равномерного распределения усилий по всем тормозным колодкам.

Библиографический список

1. Лилов, Л. К. Моделирование систем связанных твердых тел / Л. К. Лилов. — Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1993. — 272 с.

2. Шилен, В. Динамика систем твердых тел / В. Шилен // В сб.: Динамика высокоскоростного транспорта; под ред. Т. А. Тибилова. — Москва : Транспорт, 1988. — С. 32–39.

3. Schiehlen, W. (ed.). Multiboby systems handbook / W. Schiehlen. – Berlin: Springer, 1991.

4. Kreuzer, E. Generation of symbolic equations of motion of multibody systems // Computerized symbolic manipulations in mechanics. Springer-Verlag, 1994. — P. 1–67.

5. Ефимов, Г. Б. Некоторые алгоритмы автоматизированного синтеза уравнений движения системы твердых тел / Г. Б. Ефимов, Д. Ю. Погорелов. — Москва : Ин-т. прикл. матем. им. М.В. Келдыша РАН, 1993. — 30 с.

6. Погорелов, Д. Ю. Моделирование механических систем с большим числом степеней свободы. Численные методы и алгоритмы. автореферат дис. ... д-ра физ.-мат. наук. / Д. Ю. Погорелов. — Брянск, 1994. — 18 с.

7. Погорелов, Д. Ю. Введение в моделирование динамики систем тел / Д. Ю. Погорелов. — Брянск : Изд-во БГТУ, 1997. — 155 с.

8. Fisette, P. Dynamic behavior comparison between bogies: rigid or articulated frame, wheelset or independent wheels / P. Fisette, K. Lipinski, J.C. Samin // The Dynamics of Vehicles on Roads and on Tracks: Vehicle System Dynamics Supplement, 1996. — P.152–174.

9. Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов / Ю. А. Бахвалов [и др.]. — Москва : Маршрут, 2006. — 374 с.

10. Балон, Л. В. Нестационарные динамические процессы в системе «тормозная колодка-колесо» / Л. В. Балон, П. А. Коропец, В. В. Косаревский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2008. — № 3. — С. 33–42.

11. Косаревский, В. В. Математическая модель и методика исследования динамики рычажной тормозной системы в установившихся режимах / В. В. Косаревский, Л. В. Балон, П. А. Коропец // Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2009. — № 3. — С. 15–22.

12. Косаревский, В. В. Динамические характеристики рычажной тормозной системы в установившихся режимах / В. В. Косаревский, Л. В. Балон, П. А. Коропец // Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2009. — № 4. — С. 33–42.

Поступила в редакцию 29.01.2020
Запланирована в номер 02.03.2020

Об авторах:

Яицков Иван Анатольевич, декан факультета «Электромеханический», доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (344038, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2), кандидат технических наук, доцент, ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8937-8875, yia3@rgups.ru

Косаревский Валерий Валерьевич, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (344038, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2), ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5040-5098, kosarewskij@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

И. А. Яицков — научное руководство, анализ полученных результатов исследований, анализ возможности практической реализации рассматриваемой методики; В. В. Косаревский — постановка цели и задачи исследования, сбор и обработка материала, проведение расчетов, оформление текста, формирование выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи